



PENGARUH HEAT TREATMENT PADA KEKERASAN MATERIAL BAJA SKD 11

Hera Setiawan^{1a}, Slamet Khoeron¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muria Kudus

Korespondensi:

^aProgram Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muria Kudus
email: hera.setiawan@umk.ac.id

ABSTRAK

Material untuk *cutting tools*, *punching tools*, dan *forming tools (non cutting tools)* adalah jenis material yang mempunyai kekerasan dan keuletan yang baik. Hal ini dapat dicapai dengan perlakuan panas pada material *dies* dan *punch*. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh proses perlakuan panas (*heat treatment*) pada kekerasan material Baja SKD 11. Material Baja SKD 11 dengan ukuran 130 mm x 115 mm x 30 mm dilakukan proses *heat treatment*, yaitu *hardening* temperatur 1.040°C dengan *holding time* 120 menit dan *quenching* dengan media pendingin oli, kemudian dilanjutkan tempering dengan temperatur 250°C dan *holding time* 60 menit. Kekerasan sebelum dan sesudah proses *heat treatment* diperiksa dan dibandingkan. Hasilnya menunjukkan bahwa harga kekerasan rata-rata *raw material* SKD 11 adalah 20 HRC, setelah proses *hardening* dan *quenching* 54 HRC, dan setelah *tempering* adalah 47 HRC.

Kata kunci: SKD 11, *hardening*, *quenching*, *tempering*, kekerasan.

ABSTRACT

Materials for *cutting tools*, *punching tools*, and *forming tools (non-cutting tools)* are types of materials that have good hardness and ductility. This can be achieved by heat treatment on *dies* and *punch* materials. This research aims to study the effect of heat treatment process on the hardness of SKD 11 steel material. SKD 11 steel material with dimensions of 130 mm x 115 mm x 30 mm was subjected to heat treatment process, including *hardening* temperature of 1,040°C with *holding time* of 120 minutes and *quenching* with oil cooling medium, then continued with *tempering* with temperature of 250°C and *holding time* of 60 minutes. The hardness before and after the heat treatment process was examined and compared. The results showed that the average hardness value of SKD 11 raw material was 20 HRC, after *hardening* and *quenching* process 54 HRC, and after *tempering* was 47 HRC.

Keywords: SKD 11, *hardening*, *quenching*, *tempering*, hardness.

1. PENDAHULUAN

Baja merupakan material yang sering dipakai dalam proses industri maupun sebagai komponen mesin [1]. Material Baja SKD11 adalah baja paduan tinggi *high-carbon, high-chromium cold-work steel* (ASTM A681) sesuai standar Jepang JIS G 4404. Komposisi kimia Baja SKD 11 adalah seperti yang terlihat pada tabel 1 dibawah [2].

Tabel 1. Komposisi kimia Baja SKD 11 sesuai standar JIS G 4404 [3]

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Ni (%)	Cr (%)	V (%)	Mo (%)
1.4-1.6	0≤0.4	0≤0.6	0≤0.03	0≤0.03	0≤0.5	11.0-13.0	0.2-0.5	0.8-1,2

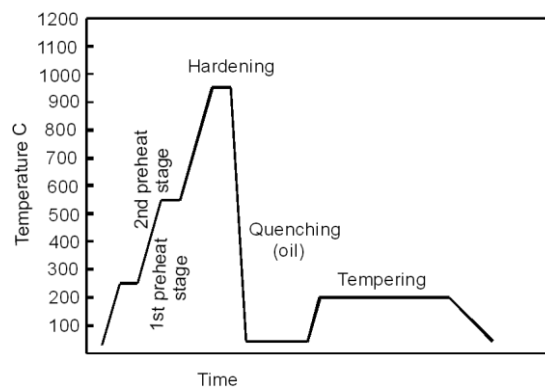
Baja SKD 11 adalah material dengan kekuatan tekan yang tinggi, keuletan dan ketahanan aus yang baik, dan termasuk material yang tangguh.. Material SKD 11 termasuk *cold work tool steel* (baja untuk proses pengerjaan dingin)., banyak digunakan pada industri manufaktur sebagai *cutting, shear blades, stamping tools, punching, dies* dan sebagainya. Biasa digunakan pada proses *blanking, punching* dan *shearing* [2].

Material untuk *cutting tools, punching tools*, dan *forming tools (non cutting tools)* adalah jenis material yang mempunyai kekerasan dan keuletan yang baik. Hal ini dapat dicapai dengan perlakuan panas pada material *dies* dan *punch* [4].

Sifat mekanik tidak hanya tergantung pada komposisi kimia suatu bahan, tetapi juga tergantung pada struktur mikronya. Suatu bahan dengan komposisi kimia yang sama dapat memiliki struktur mikro yang berbeda, dan sifat mekaniknya akan berbeda. Struktur mikro tergantung pada proses pengerjaan yang dialami, terutama proses *heat treatment* yang diterima selama proses pengerjaan [5].

Heat treatment adalah proses pemanasan dan pendinginan yang terkontrol dengan maksud mengubah sifat fisik dan sifat mekanik logam. Prosedur dari perlakuan panas tersebut berbeda-beda tergantung tujuan yang dikehendaki. Langkah pertama dalam proses *heat treatment* adalah pemanasan logam atau paduan dalam temperatur tertentu dengan atau tanpa memberikan waktu penahanan (*holding time*), yang kemudian dilanjutkan dengan mendinginkannya dengan laju pendinginan yang diinginkan. Temperatur pengerasan sangat tergantung pada kadar karbon, dan temperatur pengerasan turun jika kadar karbon naik. Ada beberapa proses *heat treatment*, diantaranya adalah *annealing, normalizing, hardening*, dan *tempering* [2] [6].

Sifat-sifat baja perkakas atau *tool steels* sangat bergantung pada komposisi kimia dan proses *heat treatment* yang dilakukan. *Heat treatment* baja *tool steels* terdiri dari tiga tahap: (1) *Hardening*, memanaskan baja hingga ke daerah austenit untuk membentuk austenit; (2) *Quenching*, mendinginkan baja dari suhu austenitisasi untuk mengubah austenit menjadi martensit; dan (3) *Tempering* untuk menghilangkan tegangan sisa dan membentuk karbida di dalam martensit, seperti yang terlihat pada gambar 1 dibawah [1] [2].



Gambar 1. Proses Heat Treatment pada material baja [1]

Kekerasan suatu material atau baja dapat diketahui dengan pengujian kekerasan memakai mesin uji kekerasan (*hardness tester*) menggunakan tiga metoda atau teknik yang umum dilakukan, yaitu dengan menggunakan metoda *Brinell, Rockwell* dan *Vickers*, seperti yang terlihat pada gambar 2 dibawah [5][7].

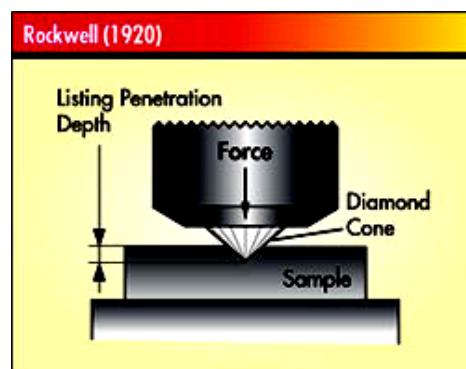
Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number*
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D[D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2P/d_1^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	{ Diamond cone 1/16 in. diameter steel spheres	 	 	60 kg } Rockwell 100 kg } 150 kg } 15 kg } Superficial Rockwell 30 kg } 45 kg }	

Gambar 2. Teknik pengujian kekerasan [5]

Pengujian kekerasan *Rockwell* yang digunakan adalah dengan skala C atau HRC, dengan menggunakan *indenter* atau *penetrator* kerucut intan dengan sudut 120°, beban awal 10 kg (98,07 N), beban utama 140 kg (1.372 N), beban total 150 kg (1471 N), seperti yang terlihat pada tabel 2 dan gambar 3 dibawah.

Tabel 2. Metode Kekerasan *Rockwell* [8]

Scale	Indenter	Initial Pressure (N)	Combined Pressure (N)	Applications
A	Diamond Indenter conical angle 120° spherical radius at vertex 0,2 mm	98,07	588,4	aed alloy, carbide for surface quenched steel, haed steel sheet
D			980,7	thin steel, surface quenched steer
C			1471	quenchedsteel, tempered steel, hard cast iron
F	Ball Indenter diameter 1,5876mm (1/16in)		588,4	cast iron, aluminium, magnesium alloy, bearing alloy, annealed copper alloy, mild steel sheet

Gambar 3. Pengujian kekerasan dengan metoda *Rockwell* [5]

Pada penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh penulis proses, *ECAP* (*equal channel angular pressing*) dapat meningkatkan kekerasan bahan (aluminium 1050) sebesar 38%, dari 21,60 BHN menjadi 29,82 BHN [9], dan proses *hardening* dan *quenching* dapat meningkatkan kekerasan material Special-K (K 100) dari 20 HRC menjadi 64 HRC, dan setelah *tempering* menjadi 62 HRC [10].

Isworo dan Rahman dalam penelitiannya menunjukkan bahwa proses *hardening* dapat menaikkan nilai kekerasan pada baja ST 41 [11].

Hasil penelitian dari Tafrant menunjukkan bahwa proses *hardening* dan *quenching* dengan pendingin air garam dapat meningkatkan kekerasan baja AISI 1040 dari 39,35 HRC menjadi 63,76 HRC dan dengan pendingin asap cair 65,40 HRC [12]. Sedangkan Sutrisno menunjukkan bahwa proses *hardening* dan *quenching* pada baud ST-60 dapat meningkatkan kekerasan rata-rata sebesar 19,29 HV atau 18 % [13].

Andreansyah yang meneliti baja karbon menengah menghasilkan bahwa proses *hardening* dan *quenching* dengan temperatur 900°C dan dengan media pendingin air menghasilkan nilai kekerasan yang paling tinggi, yaitu dengan nilai kekerasan 490,1 VHN. [14]. Sedangkan Munandar hasil penelitiannya menunjukkan bahwa *hardening* dan *quenching* menggunakan pendingin oli dapat meningkatkan kekerasan baja S50C dari 262,67 menjadi 589,29 HV [15]

Murtiono dan Arif yang meneliti material baja karbon menunjukkan bahwa proses *tempering* dapat menurunkan nilai kekerasan material baja karbon [16]. Setiawan dan Pamungkas dalam penelitiannya menghasilkan kesimpulan bahwa pengaruh temperatur *tempering* terhadap kekerasan spesimen berbanding terbalik, semakin tinggi temperatur *tempering* maka kekerasan semakin turun [17].

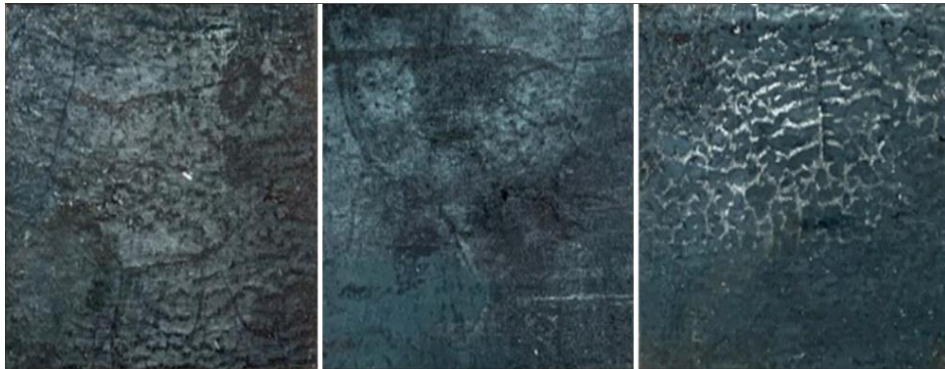
Perlu dilakukan penelitian tentang proses dan pengaruh *heat treatment* terhadap sifat atau karakteristik material SKD 11 baik sebelum maupun sesudah proses *heat treatment* sehingga diketahui kekerasannya.. Penelitian ini bertujuan melihat pengaruh proses *heat treatment*, yaitu *hardening*, *quenching*, dan *tempering*, pada kekerasan material Baja SKD 11.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan menguji dan menganalisa serta membandingkan sifat mekanis material, yaitu kekerasan material Baja SKD 11 sebelum dan sesudah dilakukan proses *heat treatment*. Proses *heat treatment* yang dilakukan yaitu *hardening* dengan temperatur 1.040°C dengan *holding time* 120 menit dan *quenching* dengan media pendingin oli, kemudian dilanjutkan *tempering* dengan temperatur 250°C dan *holding time* 60 menit.

2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah material Baja SKD 11 seperti yang terlihat pada gambar 4 dibawah.



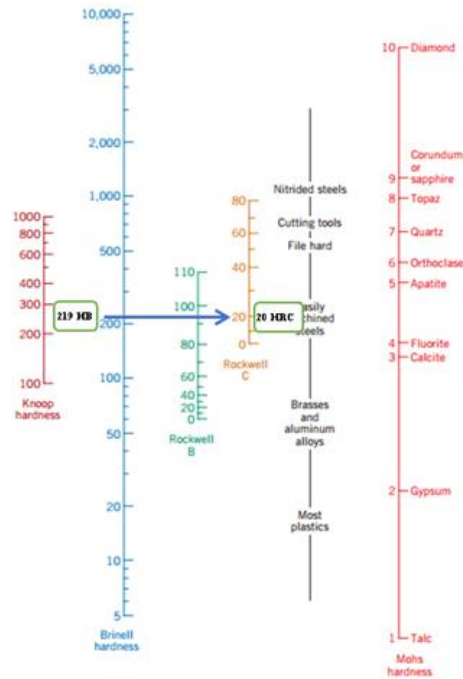
Gambar 4. Raw Material Baja SKD 11

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah Baja SKD 11 produk dari Deutsche Edelstahl Werke Specialty Steel GmbH & Co. KG dengan kekerasan 219 HB dan komposisi kimia seperti tabel 3 dibawah ini [18].

Tabel 3. Komposisi kimia material spesimen [18]

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	V (%)	Mo (%)
1.51	0.37	0.49	0.030	< 0.001	11.86	0.77	0.79

Untuk konversi nilai kekerasan bisa menggunakan gambar atau tabel perbandingan skala kekerasan seperti pada gambar 5 dibawah. Nilai kekerasan Brinell 219 HB setara dengan 20 HRC [5].



Gambar 5. Prbandingan skala kekerasan [5]

2.2 Alat-alat yang digunakan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. *Heat Treatment Furnace* (dapur listrik) seperti yang terlihat pada gambar 6 dibawah., dengan kapasitas temperatur maksimal 1.400°C. Yang digunakan untuk proses *heat treatment*, yaitu *hardening*, *quenching* dan *tempering*.
2. *Rockwell Hardness Tester*, untuk menguji kekerasan material, seperti yang terlihat pada gambar 7 dibawah.
3. Alat ukur, *vernier caliper*, mistar baja.
4. Mesin pemotong, *bandsaw machine*, *wire cut*.
5. Sarung tangan tahan panas.
6. Tang penjepit.
7. Minyak pelumas (oli).
8. Sikat dan sabun.
9. Mesin gerinda dan amplas (kertas gosok SiC).
10. *Metal polish* (Autosol), kain halus dan kertas tissue, untuk menghaluskan bahan.



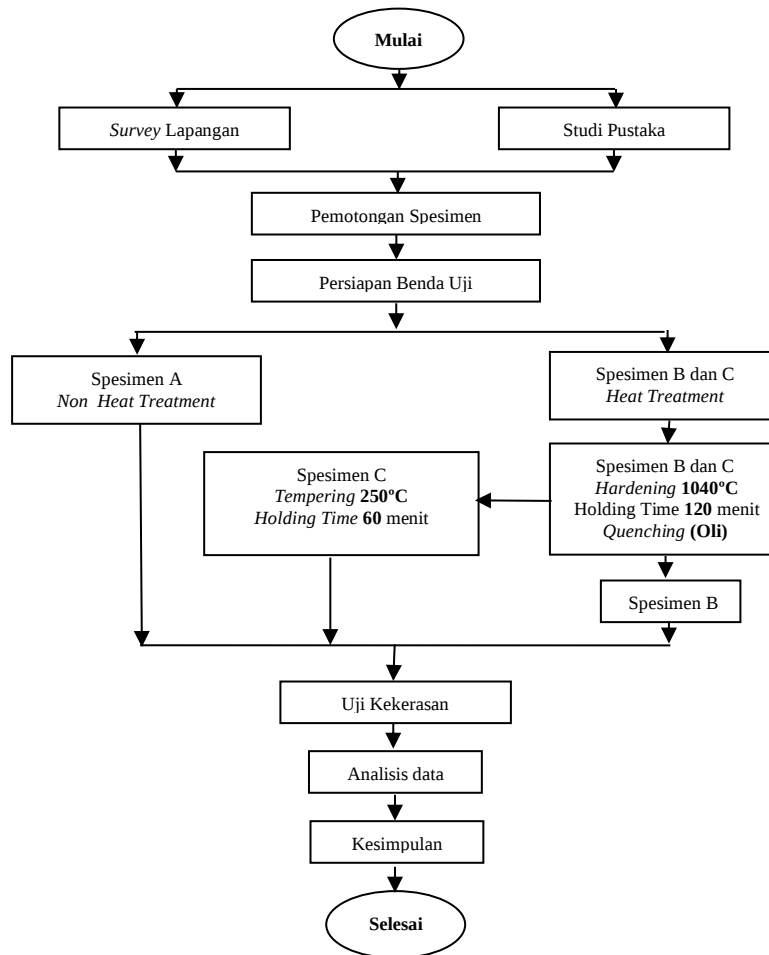
Gambar 6. Heat Treatment Furnace



Gambar 7. Rockwell Hardness Tester

2.3 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini adalah seperti yang terlihat pada gambar 8 dibawah.

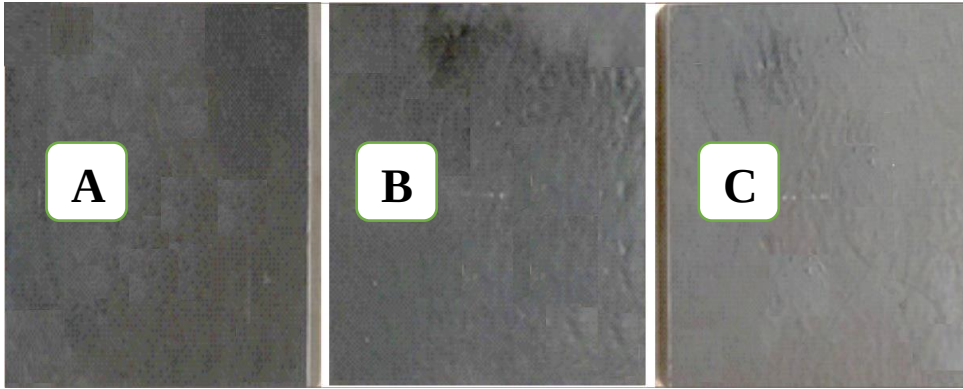


Gambar 8. Diagram alir penelitian

2.4 Langkah-langkah Penelitian

Proses dan langkah-langkah yang dilaksanakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

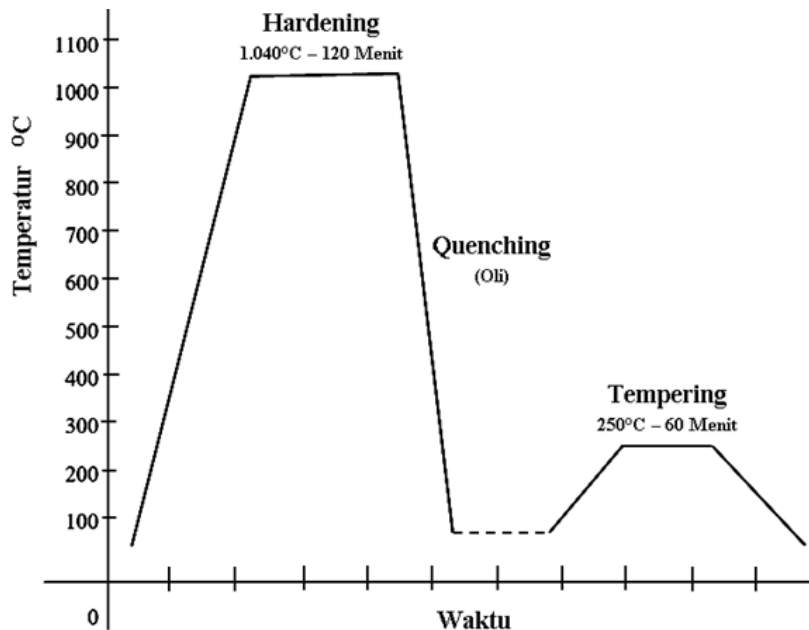
1. Menyiapkan Spesimen Material Baja SKD 11.
2. Memotong dan meratakan serta menghaluskan permukaan spesimen *raw material* Baja SKD 11 sesuai dengan ukuran dan jumlah spesimen yang diperlukan, yaitu tiga buah spesimen dengan ukuran 130 mm x 115 mm x 30 mm seperti yang terlihat pada gambar 9 dibawah.



Gambar 9. Spesimen Material Baja SKD 11

3. Proses *Heat Treatment*

Proses *heat treatment* yang dilakukan seperti yang terlihat pada gambar 10 dibawah. Yaitu Spesimen A sebagai *raw material*, tidak dilakukan *heat treatment*.

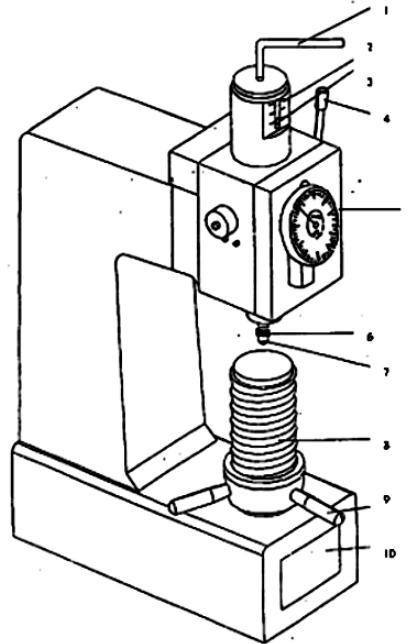


Gambar 10. Proses *Heat Treatment* pada material Baja SKD 11

Spesimen B dan C dilakukan proses *hardening* dengan temperatur 1.040°C dengan *holding time* 120 menit dan *quenching* dengan media pendingin oli. Kemudian untuk Spesimen C dilanjutkan dengan proses *tempering* dengan temperatur 250°C dan *holding time* 60 menit, dan didinginkan secara perlahan-lahan dengan cara dibiarkan dalam dapur sehingga mencapai suhu ruangan.

4. Membersihkan Spesimen B dan C hasil proses *heat treatment* dari kerak sisa minyak yang terbakar dengan air dan sabun.

5. Membersihkan semua Spesimen A, B, dan C dengan amplas dan mesin poles, dilanjutkan pengujian kekerasan.
6. Proses pengujian kekerasan. menggunakan metode *Rockwell* skala C atau HRC.
Pada penelitian ini menggunakan pengukuran kekerasan dengan metode HRC (*Hardness Rockwell Cone*) dengan proses pengukuran seperti pada gambar 11 dibawah [8].
 1. Memilih pada permukaan yang rata untuk bagian yang akan ditekan dengan *indenter* atau *penetrator*,
 2. Memasang landasan rata untuk benda uji pada dudukannya,
 3. Menggerakkan tuas pada posisi 1,



Gambar 11. Alat uji kekerasan dengan metoda *Rockwell* [8]

4. Memasang *penetrator* (kerucut intan 120°) pada pemegangnya, kemudian memasukkan pemegang pada dudukannya dengan mengencangkan baut dengan kunci L,
5. Memilih beban utama dengan cara memutar roda pengatur landasan,
6. Menjepit benda uji dengan memutar roda pengatur landasan,
7. Menggerakkan tuas ke posisi 2 secara perlahan-lahan dengan selalu melihat penetratornya untuk menjamin tidak terjadi benturan dengan benda uji. Jika permukaan benda uji sedikit miring, posisikan bagian yang rendah di depan. Pada posisi 2 ini jarum indikator telah berputar,
8. Menggerakkan tuas ke posisi 3 secara perlahan-lahan sebagai pembebanan awal. Mengatur jarum penunjuk pada dial indikator pada posisi 0 untuk menghilangkan beban awal sesuai dengan metoda yang digunakan. Pada mesin ini hanya tersedia metode *Rockwell B* dan *Rockwell C*. Gunakan skala bagian luar untuk *Rockwell C*,
9. Menggerakkan tuas ke posisi 4 secara perlahan-lahan sebagai pembebanan utama. Jarum pada peraga akan bergerak, menunggu hingga jarum berhenti lagi (kira-kira 20 detik)
10. Menggerakkan tuas pada posisi 3 perlahan-lahan, membaca angka kekerasannya pada angka yang ditunjukkan oleh jarum penunjuk.
11. Mengembalikan tuas pada posisi 2, dan posisi 1 secara perlahan-lahan.
12. Pengujian dilakukan 6 kali dengan cara menggeser benda uji, sesuai titik yang dikehendaki.
7. Analisa data dan kesimpulan.
Hasil pengukuran kekerasan dengan metode *Rockwell* dibuat tabel dan grafik, dihitung nilai rata-ratanya. Kemudian dianalisa nilai prosentase kenaikan kekerasan masing-masing proses *heat treatment*

terhadap nilai *raw material* dan terhadap proses *heat treatment* sebelumnya. Hasil dari perhitungan dan analisa dibandingkan dengan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya.

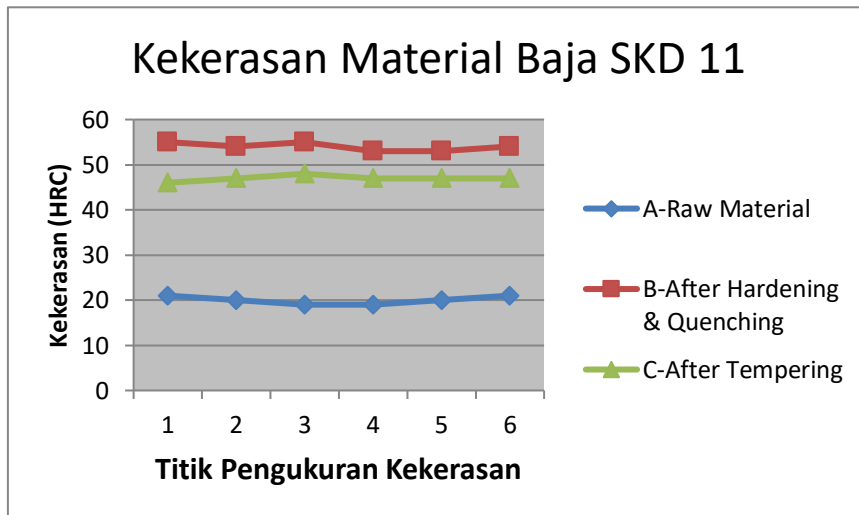
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran kekerasan Baja SKD 11 *raw material* dan sesudah proses *heat treatment*, yaitu setelah proses *hardening* dan *quenching* dan setelah proses *tempering*, adalah seperti yang terlihat pada tabel 4 dibawah ini.

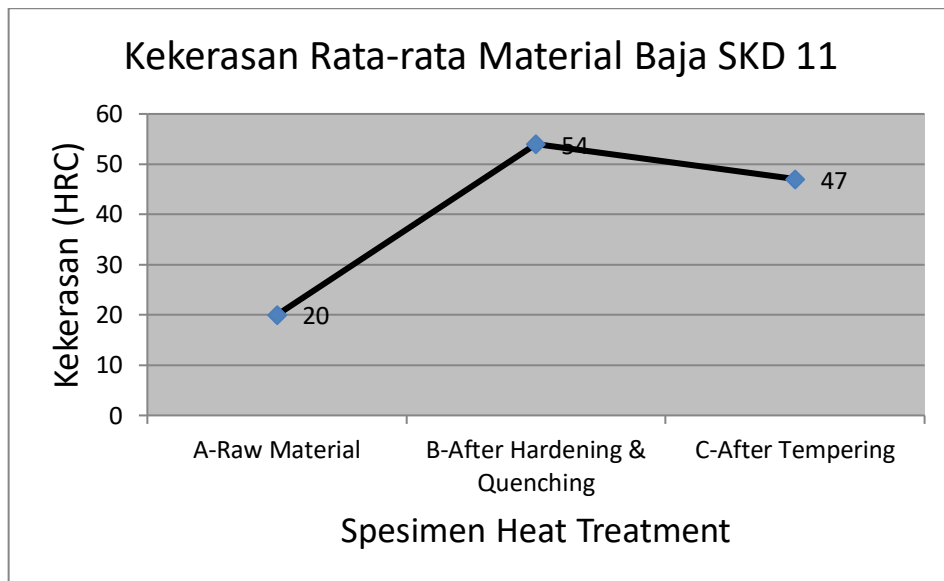
Tabel 4. Hasil pengukuran kekerasan material Baja SKD 11

Spesimen	Kekerasan HRC						Rata-rata	Stdev
	1	2	3	4	5	6		
A-Raw Material	21	20	19	19	20	21	20,0	0,894
B-After Hardening & Quenching	55	54	55	53	53	54	54,0	0,894
C-After Tempering	46	47	48	47	47	47	47,0	0,632

Dari hasil pengukuran pada tabel 4 diatas dapat dibuat grafik kekerasan dan kekerasan rata-rata material Baja SKD 11 seperti yang terlihat pada gambar 11 dan 12 dibawah.



Gambar 11. Grafik hasil pengukuran kekerasan material Baja SKD 11



Gambar 12. Grafik kekerasan rata-rata material Baja SKD 11

Dari tabel 4 dan grafik hasil pengukuran kekerasan rata-rata material Baja SKD 11 seperti yang terlihat pada gambar 11 diatas, terlihat bahwa hasil pengukuran kekerasan cukup merata untuk setiap titik pengukuran, baik kekerasan pada *raw material*, setelah *proses hardening* dan *quenching*, maupun setelah proses *tempering*, hal ini terlihat dari nilai *standar deviasi* yang cukup kecil, nilainya kurang dari 1.

Nilai kekerasan rata-rata *raw material* Baja SKD 11 adalah 20 HRC, naik menjadi 54 HRC setelah proses *Hardening* dengan temperatur 1.040°C dan *holding time* 120 menit dan dilanjutkan dengan *quenching* dengan pendingin oli, kemudian kekerasan rata-rata material SKD 11 turun menjadi 47 HRC setelah proses *tempering* dengan temperatur 250°C *holding time* 60 menit, dan didinginkan perlahan-lahan dalam tungku.

Untuk nilai kekerasan rata-rata *raw material* Baja SKD 11 adalah 20 HRC, hal ini sesuai dengan sertifikat material yang dikeluarkan dari produsen yaitu dengan nilai kekerasan *Brinell* 219 HB, yang nilai ini kalau di konversi ke nilai kekerasan *Rockwel C* adalah setara dengan 20 HRC,

Kenaikan atau peningkatan dan prosentase kenaikan kekerasan hasil proses *heat treatment* dapat dilihat pada tabel 5 dibawah.

Tabel 5. Peningkatan kekerasan material Baja SKD 11 hasil proses *heat treatment*

Spesimen	Kekerasan (HRC)	Kenaikan Dari	
		Raw Material	Sebelumnya
A-Raw Material	20	0,00%	0,00%
B-After Hardening & Quenching	54	170,00%	170,00%
C-After Tempering	47	135,00%	-12,96%

Peningkatan kekerasan hasil proses *hardening* dan *quenching* dibandingkan dengan *raw material* cukup besar, yaitu 170% dari 20 HRC menjadi 54 HRC, hal ini sesuai dengan tujuan dari proses *hardening* dan *quenching* yaitu untuk memperoleh kekuatan, kekerasan dan sifat tahanan aus yang tinggi [5][6].

Setelah mengalami proses *tempering*, kekerasan ini turun sebesar 12,96% dari 54 HRC menjadi 47 HRC jika dibandingkan dengan proses sebelumnya yaitu *hardening* dan *quenching*. Jika dibandingkan dengan *raw material*, kekerasan hasil proses *tempering* mengalami kenaikan sebesar 135% dari 20 HRC menjadi 47 HRC. Penurunan

kekerasan ini merupakan konsekuensi dari tujuan *tempering* yaitu menghilangkan tegangan sisa akibat *hardening* dan *quenching* yang bisa menimbulkan retak dan untuk mengembalikan ketangguhan bahan.

Dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh penulis, Pengaruh Proses *Heat Treatment* Pada Kekerasan Material Special K (K100), dengan proses *heat treatment* seperti yang terlihat pada gambar 1 diatas, yaitu *hardening* dengan temperatur 950°C dengan pencapaian suhu maksimum melalui 3 kali langkah, dari temperatur ruangan atau temperatur awal *raw material*, 1st *preheat stage* 250°C, 2nd *preheat stag*, 550°C dan *Hardening* 950°C, dengan *holding time* 120 menit dan *quenching* dengan media pendingin oli, kemudian dilanjutkan *tempering* dengan temperatur 200°C dan *holding time* 60 menit, hasil pengukuran dan peningkatan kekerasan material Special K (K 100) adalah seperti yang terlihat pada tabel 6 dibawah [10].

Tabel 6. Kekerasan material Special K (K 100) hasil proses *heat treatment* [10]

Spesimen	Kekerasan (HRC)	Kenaikan Dari	
		Raw Material	Sebelumnya
A-Raw Material	20	0,00%	0,00%
B-After Hardening & Quenching	64	220,00%	220,00%
C-After Tempering	62	210,00%	-3,13%

Dari penelitian sebelumnya didapatkan kekerasan rata-rata *raw material Special K (K 100)* adalah 20 HRC, setelah proses *hardening* dan *quenching* 64 HRC, dan setelah proses *tempering* adalah 62 HRC [9]. Hal ini menunjukkan kecenderungan yang sama, yaitu kenaikan nilai kekerasan material setelah mengalami proses *hardening* dan *quenching*, dan material akan mengalami penurunan kekerasan setelah proses *tempering* [9].

Kekerasan setelah proses *hardening* dan *quenching* material *Special K (K 100)* lebih tinggi yaitu 64 HRC mengalami peningkatan 220%, sedangkan pada Baja SKD 11 adalah 54 HRC, mengalami peningkatan sebesar 170% dari *raw material*.. Setelah proses *tempering*, kekerasan material *Special K (K 100)* adalah 62 HRC, mengalami kenaikan sebesar 210% dari *raw material*, dan mengalami penurunan sebesar 3,13% dari proses sebelumnya yaitu *hardening* dan *quenching*., sedangkan kekerasan material Baja SKD 11 adalah 47 HRC, mengalami kenaikan sebesar 170% dari *raw material*, dan mengalami penurunan sebesar 12,96 dari proses sebelumnya yaitu *hardening* dan *quenching*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan :

1. Proses *heat treatment* meningkatkan kekerasan material Baja SKD 11 dari *raw material*.
2. Kekerasan rata-rata *raw material* Baja SKD 11 adalah 20 HRC, setelah proses *hardening* dan *quenching* adalah 54 HRC, dan setelah proses *tempering* adalah 47 HRC.
3. Hasil proses *hardening* dan *quenching* material Baja SKD 11 mengalami peningkatan kekerasan yang cukup besar dibandingkan dengan *raw material* yaitu naik 170% dari 20 HRC menjadi 54 HRC.
4. Setelah mengalami proses *tempering*, kekerasan material Baja SKD 11 ini turun sebesar 12,96 % dari 54 HRC menjadi 47 HRC jika dibandingkan dengan hasil proses sebelumnya yaitu *hardening* dan *quenching*. Jika dibandingkan dengan *raw material*, kekerasan hasil proses *tempering* mengalami kenaikan sebesar 135% dari 20 HRC menjadi 47 HRC

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BOHLINDO BAJA, P.T. (2000). *BOHLER STEEL MANUAL*. Jakarta: P.T. BOHLINDO BAJA.
- [2] Totten, G.E. (2006). *STEEL HEAT TREATMENT – METALLURGY AND TECHNOLOGY*. Portland, Oregon. Taylor & Francis, pp. 651-694
- [3] Japanese Standard Associatipn, 2006, Japanese Industrial Standard JIS G 4404 Alloy Steel. Tokyo, Japanese Standard Associatipn, pp.4,7.

- [4] Oestwald, P.F., and Munoz, J. (1996). *Manufacturing Processes and Systems*. Canada: John Wiley & Sons.
- [5] Callister Jr., W.D.. (2000). *Fundamentals of Materials Science and Engineering.- Interactive e Text*. John Wiley & Sons, Fifth Edition.
- [6] Surdia, T. dan Saito, S.. (1999). *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita., Cetakan ke-4. pp. 129 - 142.
- [7] Dieter, G.E. (1996). *Metalurgi Mekanik*. Jakarta: Erlangga
- [8] Time High Technology. (2013). *Rockwell Hardness Tester TH500 – Istrunction Manual*. Beijing TIM High Technology Ltd.p.3.
- [9] Setiawan, H. (2008). “Pengaruh Proses Equal Channel Angular Pressing (ECAP) Terhadap Kekerasan Aluminium 1050”, Laporan Penelitian UMK.
- [10] Setiawan, H. (2012). “Pengaruh Proses Heat Treatment Pada Kekerasan Material Special K (K100)”. *Simetri*, 2 1, pp.40-50.
- [11] Isworo, H. dan Rahman, N. (2020), “Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan dan Media Pendingin Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja ST 41 Metode Hardening”. *SJME KINEMATIKA*, 5.1, pp 37-50.
- [12] Tafrant, D., dkk., (2022). “Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja AISI 1040 Sebagai Hasil Quenching Menggunakan Pendingin Air Garam Dan Asap Cair”. *Machinery: Jurnal Teknologi Terapan*, 3.2, pp. 62-68.
- [13] Sutrisno, Azmal, Dwi Handoko, (2021). “Analisa pengaruh temperatur pemanasan pada proses normalizing dan hardening quenching terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro baut ST-60”. *TURBO*, 10.2, pp. 166-176.
- [14] Andreansyah, M., Anjan, RD., Naubnome, V., (2024). “Pengaruh Proses Heat Treatment Quenching dan Tempering) Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Karbon Menengah”. *Jurnal Serambi Engineering*. IX. 1, pp. 7864-7872.
- [15] Munandar, MHA., Kardiman, Santoso, DT., .(2023). “Pengaruh Variasi Holding Time Pada Proses Heat Treatment (Hardening) Untuk Baja S50c Sebagai Pisau Mesin Pencacah Kayu”. *Jurnal Mesin Nusantara*. 6. 2, pp. 127-138.
- [16] Murtiono dan Arief . (2013). “Pengaruh quenching dan Tempering terhadap kekerasan dan Kekuatan Tarikserta Struktur Mikro Baja Karbon Sedang untuk Mata Pisau Pemanen Sawit”. *Jurnal E-Dinamis*, 2. 2. pp.
- [17] Setiawan, A. dan Pamungkas, BY., (2022). “Pengaruh Temperataur dan Holding Time dalam proses Tempering terhadap Sifat Mekanik Pipa Low Carbon Steel Low Alloy Grade X65Q”, *Journal Of Metallurgical Engineering And Processing Technology*, 3.7, pp. 53-62.
- [18] Deutsche Edelstahl Werke. (2021). *Certificate No: 2505424/7856617/bit. Date: 21 10 2021*. Germany, Inspection Department, Deutsche Edelstahl Werke Specialty Steel GmbH & Co. KG